



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI *SETTING* WAKTU RELE PENGAMAN
PADA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT STABILITY*
*ASSESMENT***

Hafiz Ichwanto
NRP 07111440000173

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI *SETTING* WAKTU RELE PENGAMAN
PADA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN *TRANSIENT STABILITY*
*ASSESMENT***

Hafiz Ichwanto
NRP 07111440000173

Dosen Pembimbing
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***EVALUATION OF THE PROTECTION RELAY TIME
SETTING IN PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR BY
CONSIDERING TRANSIENT STABILITY ASSESMENT***

Hafiz Ichwanto
NRP 07111440000173

Supervisor
Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**EVALUASI SETTING WAKTU RELE PENGAMAN
PADA PT. PUPUK KALIMANTAN TIMUR
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TRANSIENT
STABILITY ASSESMENT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**


**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 19730927 199803 1 004


Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT
NIP. 196603181990101001



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**Evaluasi *Setting Waktu Rele* Pengaman Pada PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assesment***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Hafiz Ichwanto
07111440000173

Evaluasi *Setting* Waktu Rele Pengaman Pada PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assesment*

Nama mahasiswa : Hafiz Ichwanto

Dosen Pembimbing I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRAK

Pada kondisi normal, sebuah sistem tenaga listrik akan beroperasi dalam keadaan stabil, yakni tercapainya keseimbangan antara daya mekanik dari *prime mover* dengan keluaran daya elektrisnya. Setiap terjadi kenaikan atau penurunan beban dalam jumlah besar, maka daya mekanik harus mampu mengikuti perubahan ini untuk mengembalikan sistem pada kondisi normalnya. Perubahan beban disini dapat disebabkan oleh beberapa kejadian, diantaranya hubung singkat (*short circuit*) dan *generator outage*. Yang mana kejadian-kejadian tersebut termasuk dalam fenomena kestabilan *transient*, yakni bagaimana respon sistem seusai mengalami gangguan besar dalam waktu yang singkat (*transient*). Analisis kestabilan sangat diperlukan dalam menganalisis suatu sistem kelistrikan. Salah satunya dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan *setting* proteksi suatu sistem. Selanjutnya hal ini dikenal dengan istilah CCT (*Critical Clearing Time*) yakni batas waktu maksimum yang diizinkan bagi sistem untuk mengisolir suatu gangguan. Yang mana apabila waktu tersebut terlampaui, maka generator terkait akan mengalami lepas sinkron dari generator lainnya. Dan apabila dibiarkan terjadi, lama kelamaan akan merusak turbin mekanik dari generator itu sendiri. Pada tugas akhir kali ini, diperoleh CCT pada masing-masing bus yang telah dipilih, dan didapati bahwa terdapat lima lokasi yang memerlukan rekomendasi *setting* proteksi setelah dibandingkan dengan nilai CCT yang diperoleh.

Kata kunci: (*Critical clearing time, Generator outage, Hubung singkat, kestabilan transient,*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

Evaluation of The Protection Relay Time Setting in PT. Pupuk Kalimantan Timur by Considering Transient Stability Assesment

Student Name : Hafiz Ichwanto
Supervisor I : Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Supervisor II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

ABSTRACT

Under normal conditions, a power system will operate in a stable state, by achieving a balance between the mechanical power of the prime mover with electrical power output. Whenever there is a large change in load, the mechanical power must be able to follow this change to restore the system under normal conditions. Load changes here can be caused by several events, including short circuit and generator outage. Which events are included in the phenomenon of transient stability, namely how the system response after a major disruption in a short time (transient). Stability analysis is necessary in analyzing a system. One of them can be used as a consideration in setting the protection of the system. Furthermore this is known as CCT (Critical Clearing Time) which is the maximum time limit allowed for the system to isolate a disturbance. Which when the time is exceeded, then the corresponding generator will occur loss synchron from the other generators. And if thus allowed to happen continuously, it will damage the mechanical turbine from the generator itself. In this final project, we get the CCT on each bus that has been selected and found that there are five locations that require recommendation of protection setting after compare with CCT value obtained.

Key Word: (Critical clearing time, Generator outage, Short circuit, Transient stability)

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Evaluasi Setting Waktu Rele Pengaman Pada PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan Mempertimbangkan *Transient Stability Assesment***”.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia dan petunjuk-Nya.
2. Ibu dan Bapak penulis atas doa dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis
3. Bapak Ardyono dan Bapak Margo selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan perhatiannya selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang luar biasa.
5. Teman-teman e54, ELITS SMANTI dan member LIPIST yang telah menemani dan memberikan dukungan serta pembelajaran selama masa kuliah sampai penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis sangat berharap agar hasil dari tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi siapa saja yang membacanya. Oleh karenanya, demi memperoleh hasil yang baik, penulis sangat terbuka atas masukan dan saran dari para pembaca kelak.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
1.7 Relevansi.....	5
BAB 2 KESTABILAN SISTEM TENAGA	7
2.1 Kestabilan Sistem.....	7
2.2 Klasifikasi Kestabilan	7
2.2.1 Kestabilan sudut rotor	8
2.2.2 Kestabilan tegangan	10
2.2.3 Kestabilan frekuensi	11
2.3 Kestabilan Transient.....	12
2.3.1 Hubung Singkat.....	13
2.3.2 Perubahan Beban.....	14
2.3.3 Starting motor.....	14
2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan	14
2.5 Proteksi Sistem Tenaga	17
2.6 Critical Clearing Time (CCT)	18

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT.PUPUK KALIMANTAN TIMUR	21
3.1 Sistem Kelistrikan di PT.Pupuk Kalimantan Timur	21
3.2 Data Sistem Kelistrikan	22
3.2.1 Data Generator	22
3.2.2 Data Transformator Utama	23
3.2.3 Data Beban.....	24
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Analisis Kestabilan Transient	27
4.2 Penentuan CCT berdasarkan Lokasi Gangguan di PT. Pupuk Kalimantan Timur	28
4.2.1 Case CCT KANIBUNGAN: Simulasi Gangguan Bus Kanibungan 33 kV	29
4.2.2 Case CCT KDM: Simulasi Gangguan Bus KDM 33 kV	30
4.2.3 Case CCT PKT4: Simulasi Gangguan Bus PKT4 33 kV	32
4.2.4 Case CCT Tanjung Harapan: Simulasi Gangguan Bus THARAPAN 33 kV	33
4.2.5 Case CCT PKT2: Simulasi Gangguan Bus PKT2 33 kV	35
4.2.6 Case CCT PKT3: Simulasi Gangguan Bus PKT3 33 kV	36
4.2.7 Case CCT 1: Simulasi Gangguan Bus SG-00-K5.....	38
4.2.8 Case CCT 2: Simulasi Gangguan Bus KDM 11 kV	39
4.2.9 Case CCT 3: Simulasi Gangguan Bus 00-SG-101.....	41
4.2.10 Case CCT 5: Simulasi Gangguan Bus 03-SG-101.....	42
4.2.11 Case CCT 7: Simulasi Gangguan Bus SWGR-1	44
4.2.12 Case CCT 8: Simulasi Gangguan Bus 52-SG-101.....	45
4.3 Perbandingan hasil CCT dan <i>Setting Rele Existing</i> PT. Pupuk Kalimantan Timur	47
BAB 5 PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49

DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53
BIODATA PENULIS	59

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Studi	4
Gambar 2.1	Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik	8
Gambar 2.2	Respon sudut rotor terhadap gangguan transient	9
Gambar 2.3	Kurva penentuan kestabilan transient	12
Gambar 3.1	Gambar Single Line Diagram PT. Pupuk Kalimantan Timur	21
Gambar 4.1	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus kanibungan 33 kV dengan waktu pemutusan 0.77s	29
Gambar 4.2	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus kanibungan 33 kV dengan waktu pemutusan 0.78s	30
Gambar 4.3	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 33 kV dengan waktu pemutusan 0.65s	31
Gambar 4.4	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 33 kV dengan waktu pemutusan 0.66s	31
Gambar 4.5	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT4 33 kV dengan waktu pemutusan 0.88s	32
Gambar 4.6	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT4 33 kV dengan waktu pemutusan 0.89s	33
Gambar 4.7	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus THARAPAN 33 kV dengan waktu pemutusan 0.83s.....	34
Gambar 4.8	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus THARAPAN 33 kV dengan waktu pemutusan 0.84s.....	34
Gambar 4.9	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT2 33 kV dengan waktu pemutusan 0.68s	35
Gambar 4.10	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT2 33 kV dengan waktu pemutusan 0.69s	36
Gambar 4.11	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT3 33 kV dengan waktu pemutusan 0.65s	37
Gambar 4.12	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT3 33 kV dengan waktu pemutusan 0.66s	37

Gambar 4. 13	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SG-00-K5 dengan waktu pemutusan 0.68s	38
Gambar 4. 14	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SG-00-K5 dengan waktu pemutusan 0.69s	39
Gambar 4. 15	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 11 kV dengan waktu pemutusan 0.54s	40
Gambar 4. 16	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 11 kV dengan waktu pemutusan 0.55s	40
Gambar 4. 17	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 00-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.68s	41
Gambar 4. 18	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 00-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.69s	42
Gambar 4. 19	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 03-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.55s	43
Gambar 4. 20	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 03-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.56s	43
Gambar 4. 21	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SWGR-1 dengan waktu pemutusan 0.98s	44
Gambar 4. 22	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SWGR-1 dengan waktu pemutusan 0.99s	45
Gambar 4. 23	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 52-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.55s	46
Gambar 4. 24	Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 52-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.56s	46

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator.....	22
Tabel 3.2 Data Spesifikasi Trafo Utama	23
Tabel 3.3 Data Spesifikasi Trafo Utama	24
Tabel 3.4 Rincian Beban Masing-Masing Pabrik	24
Tabel 4.1 Perbandingan nilai CCT dengan setting existing waktu rele.....	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Pupuk Kalimantan Timur adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri kimia, khususnya sebagai produsen pupuk. Bahkan perusahaan ini adalah produsen urea terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi mencapai angka 3,43 juta ton per tahunnya. Selain urea, industri yang didirikan pada 1977 silam ini juga memproduksi pupuk jenis NPK dan amoniak, dengan kapasitas produksi masing-masing 350 ribu ton dan 2,74 juta ton setiap tahunnya [1]. Hingga saat ini, PT. Pupuk Kalimantan Timur telah memiliki 4 pabrik utama dan keempatnya terintegrasi pada bus dengan konfigurasi ring dengan level tegangan 33 kV. Konfigurasi ring disini dipilih guna menjaga keandalan pabrik, agar saat terjadi gangguan, sektor yang tidak terganggu tetap dapat beroperasi dengan baik karena masih mendapat suplai daya dari jalur lainnya.

Sebagai produsen urea terbesar di Indonesia, maka PT. Pupuk Kalimantan Timur harus mampu menjaga kontinuitas produksi pabrik mereka. Yang mana kontinuitas produksi suatu pabrik dapat diperoleh dengan beberapa cara, selain dengan memakai konfigurasi ring sebagai topologi jaringannya, pabrik tersebut juga harus memiliki sistem proteksi yang baik[2]. Suatu sistem proteksi dapat dikatakan baik apabila sistem tersebut mampu mengisolir gangguan dengan cepat dan tepat, sehingga dapat melindungi peralatan dan bagian yang tidak mengalami gangguan dari kerusakan yang fatal.

Namun, kebanyakan sistem proteksi yang ada, hanyalah di desain untuk dapat mengisolir gangguan yang terjadi, dan belum mempertimbangkan dampaknya terhadap kestabilan sistem selepas proses isolasi gangguan selesai [3]. Padahal kestabilan pada suatu sistem adalah hal yang cukup penting, yang mana apabila tidak diperhitungkan dampak mengakibatkan satu atau bahkan beberapa generator lepas sinkron, yang selanjutnya menyebabkan arus yang mengalir sangat tinggi dan frekuensi putaran turbin menjadi kacau. Apabila hal ini terus berlanjut hal ini akan dapat merusak turbin itu sendiri dan untuk memperbaikinya akan dibutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit.

Oleh karena itu, pada tugas akhir kali ini akan dilakukan evaluasi terhadap setting ulang rele pengaman dengan mempertimbangkan kestabilan sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mencari besar nilai

waktu pemutusan kritis (*Critical Clearing Time*) yang selanjutnya disebut dengan CCT. Besarnya nilai CCT ini selanjutnya dianalisis dengan mengamati respon sudut rotor generator yang diperoleh dari *Time Domain Simulation* pada software ETAP 12.6.0, apabila respon yang diberikan sudah stabil, maka nilai tersebut lah yang selanjutnya dijadikan pertimbangan sebagai dasar untuk setting ulang rele pengaman. Yang mana nilai *setting* yang baru besarnya tidak boleh melebihi besar nilai CCT yang telah diperoleh.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana cara mendapatkan besar nilai CCT suatu sistem menggunakan metode *time domain simulation* dengan parameter kestabilan sudut rotor?
2. Bagaimana melakukan *setting* ulang rele pengaman suatu sistem untuk mendapatkan hasil yang memenuhi kriteria kestabilan.?

1.3 Tujuan

Tujuan dari dilaksanakannya Tugas Akhir ini adalah:

1. Mendapatkan nilai *Critical Clearing Time* menggunakan metode *Time Domain Simulation*.
2. Melakukan *setting* ulang rele pengaman yang belum memenuhi nilai CCT.

1.4 Batasan Masalah

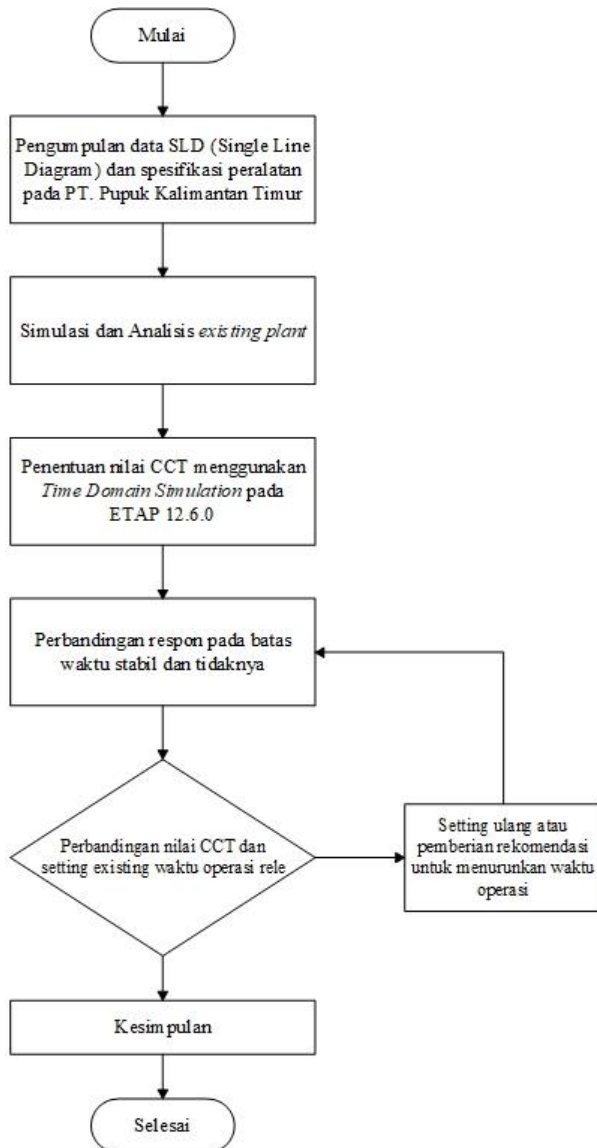
Pada Tugas Akhir kali ini, Batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Rele pengaman yang di evaluasi adalah rele pengaman arus lebih (*over current relay*)
2. CCT yang dicari hanya pada level tegangan menengah bus generator 11kV dan bus island 33kV
3. Parameter yang diamati adalah respon sudut rotor masing-masing generator

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir kali ini adalah:

1. Pengumpulan Data
Mangumpulkan data yang hendak digunakan dalam keperluan tugas akhir ini, yang mana meliputi SLD (*Single Line Diagram*) sistem kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur, data-data peralatan, serta sistem proteksi yang sudah ada (*existing*).
2. Simulasi dan Analisa *Existing Plant*
Setelah didapatkan data-data yang diperlukan, dilakukan simulasi dan analisa apakah sistem sudah bekerja dengan seharusnya.
3. Studi Literatur
Mencari dan mempelajari refrensi-refrensi yang diperlukan untuk menunjang keperluan tugas akhir ini
4. Analisa Kestabilan *Transient*
Mencari besar nilai CCT dan mengujinya kemudian melihat respon sudut rotor dari generator menggunakan *Time Domain Simulation* pada *software* ETAP 12.6.0
5. *Setting* Ulang Rele Pengaman
Setelah didapatkan besar nilai CCT yang sesuai, dilakukan *setting* ulang ataupun evaluasi sebagai upaya untuk ememnuhi nilai CCT yang telah diperoleh.
6. Penulisan Laporan Tugas Akhir
Melakukan penulisan laporan tugas akhir dengan mencatumkan hasil analisis yang telah dilakukan, berikut dengan kesimpulan yang dapat diperoleh dari analisis.



Gambar 1.1 Diagram Alir Metodologi Pelaksanaan Studi

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang keseluruhan tugas akhir ini secara makro, meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, dan relevansi dari dilakukannya tugas akhir ini.

Bab 2 : KESTABILAN SISTEM TENAGA DAN CCT

Bab ini membahas mengenai teori-teori yang sekiranya dapat menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Diambil dari refrensi-refrensi yang jelas seperti buku diktat perkuliahan maupun pada internet.

Bab 3 :SISTEM KELISTRIKAN PT.PUPUK KALIMANTAN TIMUR

Bab ini membahas mengenai sistem kelistrikan secara umum pada PT. Pupuk Kalimantan Timur sebagai objek dari tugas akhir kali ini.

Bab 4 : SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini membahas hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 berikut dengan analisisnya sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan pada tugas akhir ini

Bab 5 : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Dari hasil tugas akhir yang telah dilakukan, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi setting relay pengaman yang telah mempertimbangkan kestabilan sistem dari PT. Pupuk Kalimantan Timur
2. Memberikan refrensi bagi mahasiswa selanjutnya yang hendak mengambil topik tugas akhir serupa

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KESTABILAN SISTEM TENAGA

2.1 Kestabilan Sistem

Kestabilan suatu sistem tenaga listrik dapat diartikan sebagai kemampuan sistem tersebut untuk dapat beroperasi secara normal saat terjadi gangguan dan setelahnya [4]. Gangguan yang dimaksud disini adalah yang dapat mempengaruhi kestabilan suatu sistem, berdasarkan magnitudenya dapat dibedakan menjadi 2 macam, yakni gangguan kecil dan gangguan besar. Contoh dari gangguan kecil yakni apabila terjadi perubahan beban baik naik atau turun secara terus menerus dalam periode tertentu. Sedangkan gangguan besar adalah seperti hubung singkat dan generator *outage*.

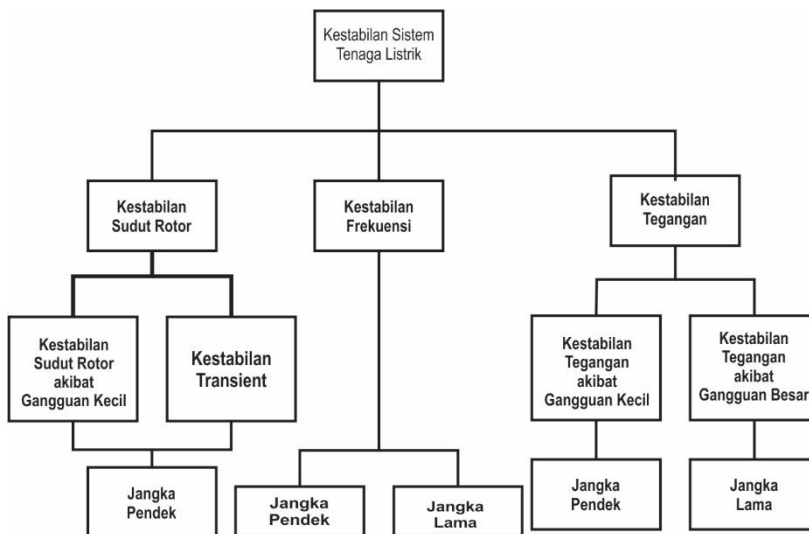
Pada kondisi stabil, suatu sistem kelistrikan akan memiliki besar daya mekanik dan elektrik yang sama. Apabila daya elektrik yang dibutuhkan beban semakin banyak, maka daya mekanik dari generator akan berusaha mengimbangnya yang selanjutnya akan mengakibatkan perlambatan putaran rotor mesin. Hal ini terjadi karena karakteristik sistem yang selalu berusaha untuk mencapai kesetimbangan. Saat terjadi hubung singkat pada satu titik, maka nilai tegangan pada titik tersebut secara bertahap namun dalam waktu yang sangat singkat akan mendekati nilai 0, sedangkan arusnya akan menjadi sangat besar pada titik tersebut. Oleh karena itu daya elektrik yang diminta menjadi lebih rendah, dan daya mekanik akan lebih besar ketimbang daya elektrik. Selanjutnya, generator akan mengalami percepatan sesaat akibat pelepasan energi kinetik pada poros rotor sebelum akhirnya melakukan perlambatan [5]. Apabila gangguan ini tidak segera diisolir maka perbedaan antara daya mekanik dan elektrik akan menyimpang terlalu jauh, dan sistem akan semakin sulit untuk mengembalikannya ke kondisi stabilnya. Jika daya mekanik dan elektrik tidak dapat kembali seimbang, maka hal ini akan mengakibatkan generator terkait lepas sinkron dari sistem [4]. Apabila generator sampai lepas sinkron maka putaran tiap mesin menjadi kacau dan apabila tidak segera ditangani, maka hal ini akan mengakibatkan kerusakan turbin dari generator itu sendiri.

2.2 Klasifikasi Kestabilan

Untuk dapat melakukan analisis kestabilan pada suatu sistem, dapat dilakukan dengan mengamati 3 parameter, yang berdasarkan referensi

paper IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) *Definition and Classification of Power System Stability* secara umum kestabilan suatu sistem dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

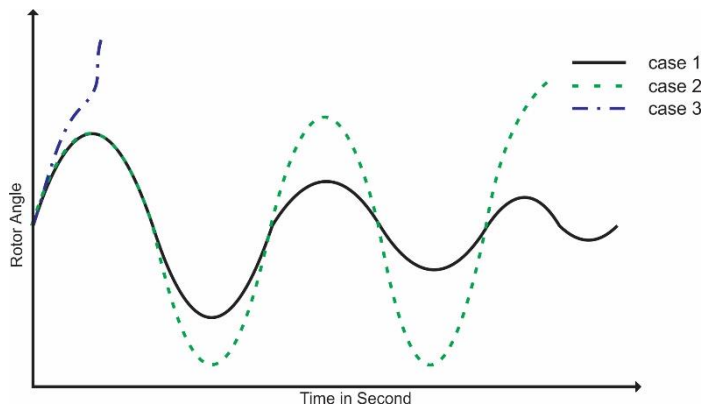
1. Kestabilan sudut rotor
2. Kestabilan tegangan
3. Kestabilan frekuensi



Gambar 2.1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik

2.2.1 Kestabilan sudut rotor

Adalah suatu kemampuan dari mesin sinkron pada sistem untuk mempertahankan kondisi sinkron mereka pasca terjadinya kondisi abnormal pada sistem (gangguan). Kondisi sinkron yang dimaksud disini adalah keseimbangan antara nilai torsi mekanik dan elektrik dari generator. Saat terjadi gangguan, beban elektrik sistem dapat naik ataupun turun secara tiba-tiba, dan untuk mengikuti hal ini torsi mekanik generator akan berusaha untuk mengimbangi perubahan tersebut, namun karena keterbatasan mekanis hal ini tidak akan dapat dipenuhi dalam waktu yang singkat. Dan pada saat ini lah akan terjadi penyimpangan sudut rotor generator. Respon sudut rotor saat terjadi gangguan dapat dilihat pada ilustrasi berikut:



Gambar 2.2 Respon sudut rotor terhadap gangguan transient

Pada kasus pertama (*case 1*), sudut rotor mengalami osilasi sejenak pasca terjadi gangguan kemudian berangsur menuju stabil dalam waktu yang relatif singkat.

Pada kasus kedua (*case 2*), ayunan pertama menunjukkan osilasi sejenak, namun seiring waktu berangsur respon tetap menunjukkan osilasi dan tidak ada tendensi untuk menuju stabil hingga akhirnya hilang sinkronisasi.

Pada kasus ketiga (*case 3*), sistem langsung kehilangan sinkronisasi dapat diakibatkan oleh kurangnya torsi sinkronisasi sistem sehingga tidak ada upaya untuk mengembalikan sistem ke keadaan

Berdasarkan penyebabnya, kestabilan sudut rotor dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil pada umumnya dapat terjadi akibat kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi damping oleh generator yang berkaitan

2. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar (transien)

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar pada umumnya terjadi ketika generator mengalami *outage* atau lepas dari sistem dan gangguan *short circuit* (hubung singkat).

Yang selanjutnya hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya simpangan pada sudut rotor dari generator itu sendiri. Respon dari kestabilan transien (akibat gangguan besar) sangat bergantung pada kondisi inisial dari sistem dan juga besarnya gangguan .

2.2.2 Kestabilan tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan kondisi level tegangan dari sebelum dan sesudah sistem mengalami gangguan. Artinya, kondisi level tegangan tidak boleh banyak berubah saat sebelum dan sesudah gangguan terjadi, walaupun terjadi perubahan, maka nilai level tegangan yang baru haruslah masih dalam standar yang berlaku.

Faktor utama yang mempengaruhi masalah kestabilan tegangan pada suatu sistem kelistrikan adalah ketidakmampuan sistem untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif pada sistem [4]. Sehingga menyebabkan level nominal dari tegangan bus tersebut menjadi turun. Sedangkan ketika terjadi suplai daya reaktif yang berlebihan maka dapat menyebabkan naiknya level nilai tegangan pada bus yang terakait.

Berdasarkan penyebabnya, kestabilan tegangan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil

Kebanyakan disebabkan oleh perubahan beban pada selang waktu tertentu pada suatu sistem kelistrikan. Yang apabila terus terjadi dapat mempengaruhi nilai tegangan nominal pada sistem. Suatu sistem dikatakan baik apabila selepas gangguan tersebut, nilai tegangannya dapat kembali ke nilai nominal sebelum terjadi gangguan.

2. Kestabilan tegangan akibat gangguan besar (transient)

Yang dimaksud dengan gangguan besar disini adalah semisal hubung singkat ataupun generator *outage*. Apabila gangguan jenis ini tidak segera diamankan dengan baik dan tepat, maka akan dapat berakibat pada naik ataupun turunnya nilai tegangan sistem melebihi batas yang diizinkan.

Berdasarkan lamanya gangguan diatas, dapat digolongkan menjadi dua, yakni gangguan jangka pendek dan jangka panjang.

Gangguan kestabilan jangka pendek dapat menyebabkan voltage *swell* dan voltage *sags*. Voltage *swell* adalah fenomena saat tegangan sistem akan secara mendadak naik melebihi nilai nominalnya namun secara berangsur akan kembali pada nilai nominal tersebut. Sedangkan voltage *sags* adalah fenomena saat tegangan sistem turun sesaat dari nominalnya dan secara berangsur kembali pada keadaan normal. Rentang waktu untuk fenomena diatas yang diizinkan adalah 0.5 *cycles* hingga 1 menit.

Sedangkan untuk gangguan kestabilan jangka Panjang dapat menyebabkan fenomena over voltage dan under voltage. Over voltage adalah kondisi saat tegangan sistem melebihi standar yang diizinkan yakni 110% selama lebih dari satu menit. Sedangkan under voltage adalah ketika tegangan sistem turun melebihi standar yang diizinkan yakni sebesar 90% dalam kurun waktu diatas satu menit.

2.2.3 Kestabilan frekuensi

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan suatu sistem untuk dapat mempertahankan nilai nominal frekuensi sistem setelah sistem mengalami gangguan. Artinya apabila frekuensi sistem 50Hz, maka sesuai gangguan frekuensi sistem tersebut harus dapat kembali ke nilai 50Hz. Goyangannya frekuensi ini dapat diakibatkan oleh ketidakseimbangan antara *demand* beban dan *supply* pembangkitan.

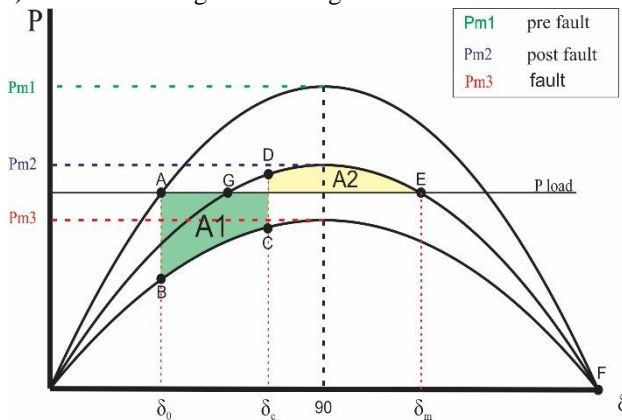
Berdasarkan lamanya gangguan, kestabilan frekuensi dapat digolongkan menjadi dua [6], yakni:

1. Kestabilan frekuensi jangka pendek
Terjadinya perubahan beban secara signifikan, sehingga generator tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan dari beban itu sendiri.
2. Kestabilan frekuensi jangka panjang
Terjadi akibat governor tidak dapat bekerja dengan baik, sehingga generator tidak lagi mampu mengikuti perubahan permintaan beban. Governor sendiri memiliki peran untuk mengatur masukkan bahan bakar pada generator sehingga dapat menaikkan dan menurunkan daya keluaran dari generator itu sendiri.

2.3 Kestabilan Transient

Kestabilan transient adalah kemampuan suatu sistem untuk dapat mempertahankan kondisi sinkron dari semua generator ketika sistem mengalami gangguan transien [7]. Yang dimaksud gangguan transien disini adalah gangguan dengan magnitude besar dan terjadi secara tiba-tiba pada suatu sistem kelistrikan. Kestabilan transien ini terjadi pada saat respon pengatur tegangan otomatis (AVR) dan respon pengatur frekuensi (governor) belum bekerja, artinya sistem belum mulai berupaya untuk dapat kembali kondisi sebelum terjadi gangguan.

Untuk dapat melakukan analisis kestabilan suatu system, salah satunya dapat digunakan sebuah metode *equal area criterion* (kriteria sama luas) sesuai ilustrasi gambar sebagai berikut:



Gambar 2.3 Kurva penentuan kestabilan transient

Dengan A adalah titik kerja awal generator (kondisi normal) sebelum terjadi gangguan yakni saat kebutuhan daya elektrik sama dengan besarnya daya mekanik yang dihasilkan generator. Kemudian saat terjadi gangguan titik kerja generator berpindah ke B. Pada titik B ini, *demand* daya elektrik turun drastis sehingga pada kondisi ini daya mekanik *prime mover* lebih besar ketimbang keluaran daya elektrik mesin, oleh karenanya pada keadaan ini generator akan mengalami percepatan yang ditunjukkan oleh pindahnya titik B menuju titik C. Naiknya kecepatan putara mesin akan berakibat berakibat pada naiknya frekuensi sistem. Kemudian saat gangguan berhasil dihilangkan titik kerja

generator akan berpindah menuju D, dan pada kondisi ini, daya elektrik akan lebih besar daripada daya mekaniknya, maka dari itu rotor mengalami perlambatan hingga nilainya sama dengan kecepatan sinkron sistem yakni pada titik E. Selanjutnya untuk menentukan stabil atau tidaknya sistem tersebut dapat dihitung luas area A1 dan A2 pada grafik, dengan aturan sebagai berikut[4]:

1. Luas ABC = Luas DE
Pada keadaan ini sistem dapat dikatakan stabil
2. Luas ABC > Luas DE
Pada keadaan ini, sistem dapat dikatakan tidak stabil

Namun, kriteria sama luas diatas hanya dapat diaplikasikan pada sistem *single machine*. Untuk dapat mempertahankan kondisi sinkron dari sistem itu sendiri, maka diperlukan analisis kestabilan agar generator yang mengalami gangguan tidak sampai lepas sinkron dari sistem dan menyebabkan kerusakan yang semakin parah. Hal-hal yang dapat mengakibatkan gangguan kestabilan transien antara lain:

1. Hubung singkat (*short circuit*)
2. Perubahan beban
3. Starting motor

2.3.1 Hubung Singkat

Hubung singkat atau *short circuit*, merupakan salah satu macam gangguan yang paling sering terjadi pada suatu sistem kelistrikan. Gangguan ini dapat disebabkan oleh petir, kegagalan isolasi, gangguan binatang, ranting pohon, dan beberapa faktor eksternal lainnya [8]. Pada saat terjadi hubung singkat, impedansi saluran akan menjadi lebih kecil dari keadaan normalnya, sehingga arus yang mengalir menjadi sangat besar, dan tegangannya pun akan turun secara drastis. Arus yang besar dan drop tegangan yang signifikan inilah yang nantinya akan dapat mempengaruhi kestabilan sistem, karena kedua hal tersebut akan berpengaruh terhadap bagaimana cara dan kemampuan pembangkit dalam mengikuti perubahan besar yang terjadi secara seketika ini.

2.3.2 Perubahan Beban

Yang dimaksud perubahan beban disini adalah keadaan ketika sistem secara seketika mendapat tambahan atau justru kehilangan beban dalam jumlah yang signifikan. Ketika beban pada sistem tiba-tiba mengalami penambahan yang besar maka sistem akan membutuhkan suplai arus yang lebih banyak, maka darinya generator akan berusaha memenuhi kebutuhan itu, namun daya mekanik masukkan generator tidak akan mampu secara mendadak memenuhi permintaan daya elektrik yang besar. Akibatnya generator akan mengubah energi kinetik atau putarannya untuk diubah menjadi daya elektrik [9], sehingga kecepatan putaran mesin akan turun dan hal ini akan menyebabkan turunnya frekuensi mesin. Jika perbedaan permintaan daya elektrik dan masukkan daya mekanik ini terlalu besar maka akan terbentuk perbedaan sudut pada rotor generator yang selanjutnya disimbolkan dengan δ (*rotor angle*), apabila perbedaan keduanya terlalu besar, generator akan lepas sinkron dari sistem atau menjadi tidak stabil.

2.3.3 Starting motor

Pada saat motor melakukan starting, motor tersebut akan meminta suplai arus yang cukup besar, bahkan dapat mencapai 6 kali lebih besar dari arus nominalnya [10]. Arus yang besar ini nantinya dapat menyebabkan meningkat drop tegangan dan rugi-rugi yang terjadi pada sistem. Akibatnya generator akan menurunkan frekuensinya untuk dapat memenuhi kebutuhan itu. Turunya frekuensi dan drop tegangan yang besar tadi lah yang akan dapat mempengaruhi kestabilan dari sistem yang ada.

2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

Sesuai dengan hukum dinamika dasar yang berkaitan dengan persamaan gerak dinamika rotor menyatakan bahwa torsi percepatan (*acceleration torque*) merupakan hasil kali dari momen inertiya dan percepatan sudut dari rotor itu sendiri [9]. Yang mana persamaan tersebut dapat dinyatakan seperti berikut:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

Dengan beberapa simbol diatas memiliki arti sebagai berikut:

J	Momen inerti total dari rotor (kg-m ²)
θ_m	Perpindahan/simpangan sudut dengan acuan sumbu stationer (rad)
t	waktu (second)
T _m	Torsi mekanik dari prime mover generator (N-m)
T _e	Torsi elektrik (N-m)
T _a	Torsi percepatan (N-m)

Karena, θ_m ditinjau langsung terhadap sumbu stationer stator sebagai refrensinya, maka nilai yang didapat merupakan nilai absolut dari sudut rotor itu sendiri. Akibatnya, besarnya akan selalu bertambah meskipun mesin masih dalam kondisi sinkron. Karena kecepatan putar rotor juga masih relative terhadap kecepatan sinkronnya, maka akan lebih baik apabila dalam menentukan besar θ_m menggunakan sumbu refrensi mesin yang berputar dalam kecepatan sinkron, darisini dapat di definisikan bahwa:

$$\theta_m = \omega_{sm}t + \delta_m \quad (2.2)$$

dengan ω_{sm} adalah kecepatan sinkron mesin (rad/s) dan δ_m adalah simpangan sudut dari rotor (rad). Dari persamaan diatas, apabila kedua ruas diturunkan terhadap fungsi waktu sebanyak dua kali maka akan didapatkan persamaan:

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \quad (2.3)$$

Apabila persamaan (4.3) disubstitusikan ke persamaan (4.1) maka akan menjadi seperti berikut:

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.4)$$

Karena daya adalah hasil kali dari torsi dan kecepatan sudut, maka apabila kedua ruas dikalikan dengan ω_m maka dapat diperoleh persamaan baru seperti berikut:

$$\begin{aligned} J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} &= T_a\omega_m = (T_m - T_e)\omega_m \\ J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} &= P_a = P_m - P_e \end{aligned} \quad (2.5)$$

Selanjutnya, $J\omega_m$ lebih dikenal dengan momentum angular dari rotor pada kecepatan sinkronnya, dan dapat dinyatakan dengan symbol M, atau yang lebih dikenal dengan konstanta inertia, dan persamaanya menjadi:

$$M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e (W) \quad (2.6)$$

Karena M adalah hasil kali antara J dan ω_m , sedangkan besarnya nilai ω_m tidak selalu sama dengan kecepatan sinkronnya, maka M sendiri pun tidak dapat dikatakan memiliki nilai yang konstan. Selain konstanta M, dalam melakukan studi analisis kestabilan, ada konstanta lain yang selanjutnya disimbolkan dengan H, yang dapat didefinisikan dengan:

$$H = \frac{\text{jumlah energi kinetik tersimpan (MJ)}}{\text{Rating mesin (MVA)}}$$

Yang mana energi kinetic disini didapat ketika mesin berputar dalam kecepatan sinkronnya. Selanjutnya persamaan diatas dapat diturunkan menjadi:

$$\begin{aligned} H &= \frac{\frac{1}{2}J\omega_{sm}^2}{S_{machine}} = \frac{\frac{1}{2}M\omega_{sm}}{S_{machine}} (MJ / MVA) \\ M &= \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{machine} (MJ / Mech rad) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Apabila nilai M ini dimasukkan pada persamaan sebelumnya, maka akan didapatkan persamaan baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{machine} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} &= P_a = P_m - P_e \\ \frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} &= \frac{P_a}{S_{machine}} = \frac{(P_m - P_e)}{S_{machine}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Dan secara umum, persamaan diatas dapat ditulis sebagai:

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \text{ (per unit)} \quad (2.9)$$

Persamaan inilah yang selanjutnya dikenal dengan persamaan ayunan (*swing equations*). Karena satuan dari δ dan ω_s selalu konsisten, maka persamaan diatas dapat digunakan secara umum baik untuk menganalisis dari segi mekanik maupun elektrik. Sedangkan satuan P_a , P_m , dan P_e harus berada dalam satuan per unit (pu) dengan basis yang sama dengan konstanta H.

2.5 Proteksi Sistem Tenaga

Suatu sistem tidak akan mampu lepas dari gangguan atau dapat disebut sebagai kondisi abnormal, yang mana kondisi ini umumnya bersifat merusak ataupun mengganggu kinerja dari sistem terkait. Dalam suatu sistem kelistrikan, gangguan yang sering terjadi adalah hubung singkat (*short circuit*). Saat terjadi hubung singkat pada suatu sistem, impedansi saluran akan sangat kecil, sehingga menyebabkan arus yang mengalir sangatlah besar, arus dalam jumlah besar inilah yang apabila tidak diatasi dengan baik nantinya akan mampu merusak peralatan dan mengganggu sistem yang tidak mengalami gangguan. Berdasarkan jenisnya, secara umum hubung singkat dapat dikategorikan menjadi 3 jenis yakni:

1. Hubung singkat 3 fasa
2. Hubung singkat 2 fasa (antar fasa)
3. Hubung singkat 1 fasa ke tanah

Dari ketiga macam hubung singkat diatas, berdasarkan referensi [11] sekitar 70%-80% yang paling sering terjadi adalah hubung singkat fasa ke tanah. Namun yang memiliki magnitude paling besar adalah saat hubung singkat 3 fasa meskipun kemungkinan terjadinya hanyalah 2%-3% [11]. Untuk meminimalisir dampak gangguan yang terjadi, suatu sistem harus memiliki sistem proteksi yang baik. Dan untuk merancang sistem proteksi yang baik, sistem tersebut harus memenuhi lima syarat utama, yakni:

1. *Reliability* (keandalan)
2. *Selectivity* (selektivitas)
3. *Speed of Operation* (kecepatan operasi)
4. *Simplicity* (membutuhkan peralatan seminim mungkin)
5. *Economics* (ekonomi)

Dalam teknisnya, pada sistem proteksi meliputi dua komponen utama, yakni rele sebagai otak dan CB (*circuit breaker*) sebagai ototnya. Yang mana sebagai otak berate rele yang akan melakukan sensing dan menentukan apakah CB harus bekerja atau tidak, sementara CB adalah perangkat yang akan memutus saluran sehingga tidak lagi mendapatkan *supply* listrik.

Semakin besar gangguan yang terjadi, maka sistem harus mampu semakin cepat untuk mengisolir gangguan tersebut. Oleh karena itu, terdapat salah satu kurva proteksi yang bernama *inverse*, yakni berbanding terbalik antara besar gangguan dan waktu operasi. Selain itu ada satu kurva lagi yang bernama *definite*, yakni rele akan bekerja pada satu waktu pasti.

2.6 Critical Clearing Time (CCT)

Hampir seluruh sistem proteksi yang didesain untuk suatu industri, hanya mempertimbangkan bagaimana cara untuk mengisolir gangguan tanpa mempertimbangkan dampak setelah gangguan tersebut dapat diisolir, terutama dari segi kestabilan sistem [10]. Berbicara terkait sistem proteksi, berdasarkan periode waktunya, dapat dikategorikan menjadi saat sebelum terjadi gangguan (normal), saat terjadi gangguan, dan setelah gangguan berhasil diatasi. Pada ketiga waktu diatas, akan terjadi fluktuasi

daya listrik maupun mekanik pada sistem yang besarnya bergantung pada lokasi dimana gangguan tersebut terjadi. Yang selanjutnya hal inilah yang menjadi salah satu faktor yang mampu mempengaruhi kestabilan sistem sesuai mengalami gangguan. Gangguan disini yang dimaksud adalah gangguan transient, seperti hubung singkat, ataupun *generator outage*. Sistem dikatakan dapat kembali stabil apabila daya mekanik dan daya listrik dapat kembali seimbang, yang apabila tidak mampu kembali seimbang dalam rentang waktu tentu, maka generator terkait akan mengalami lepas sinkron dari sistem yang ada.

Untuk mencegah hal tersebut, diperlukan analisis khusus mengenai waktu yang aman dan tepat untuk mengisolir gangguan yang terjadi tersebut [10]. Yangmana hal ini selanjutnya dikenal dengan istilah CCT (*Critical Clearing Time*). CCT sendiri dapat diartikan sebagai batas waktu maksimal yang diizinkan untuk mengisolir gangguan yang terjadi. Untuk menentukan besar nilai CCT, dapat dilakukan dengan melakukan analisis respon sudut rotor dari seluruh generator yang ada. Selanjutnya dari respon generator ini, dapat dilihat bagaimana keadaan sudut rotor generator sebelum, saat, dan sesuai gangguan terjadi pada sistem. Dari sana akan terlihat kapan waktu generator masih mampu untuk kembali ke kondisi normal dan kapan generator akan lepas dari sistem.

Selain sudut rotor, dalam melakukan analisis CCT kadang juga perlu dilakukan pengamatan pada beberapa parameter lain seperti tegangan dan frekuensi. Jika tegangan dan frekuensi masih dalam standar yang diizinkan maka hal ini juga dapat menentukan waktu kritis pemutusan dari sistem itu sendiri. Namun pada umumnya, apabila dari segi sudut rotor terbilang aman, maka parameter tegangan dan frekuensi cenderung tergolong aman pula.

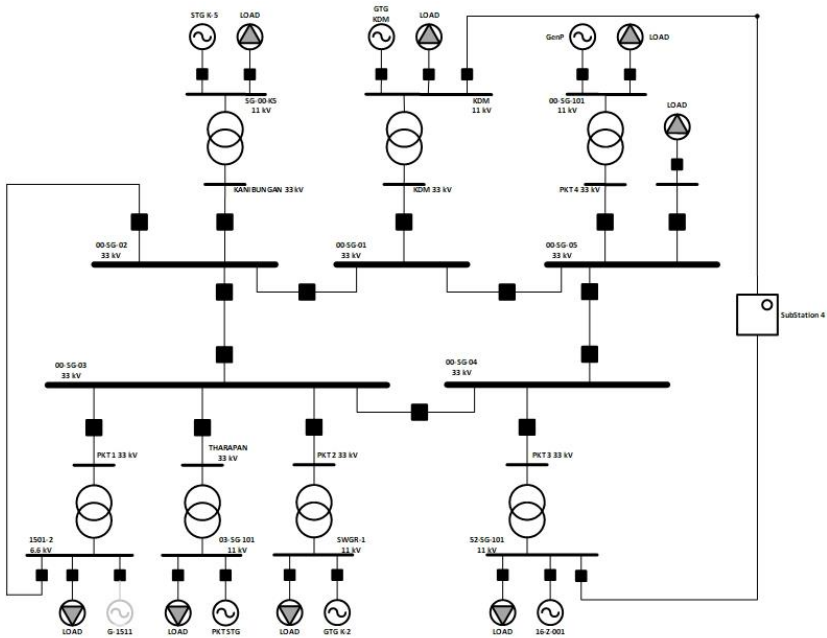
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT.PUPUK KALIMANTAN TIMUR

3.1 Sistem Kelistrikan di PT.Pupuk Kalimantan Timur

PT. Pupuk Kalimantan Timur (PKT) merupakan industri penghasil urea terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi mencapai angka 3,43 juta ton per tahunnya. Hingga saat ini sendiri, PKT telah memiliki 5 pabrik utama dengan 6 pembangkit aktif antara lain STG K-5 dengan daya mampu 27 MW, GTG KDM dengan daya mampu 30 MW, Gen P dengan daya mampu 18 MW, PKT STG 2 dengan daya mampu 27 MW, GTG K-2 dengan daya mampu 30 MW, dan 16-Z-001 dengan daya mampu 27 MW. Sistem kelistrikan PKT dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Gambar Single Line Diagram PT. Pupuk
Kalimantan Timur

3.2 Data Sistem Kelistrikan

Pada Sub Bab ini, akan disajikan parameter-parameter terkait spesifikasi peralatan yang dimiliki oleh PT.Pupuk Kalimantan Timur yang sekiranya diperlukan untuk melakukan analisis transient. Peralatan yang dimaksud disini antara lain meliputi, generator, trafo, dan pembebanan pada masing-masing pabrik.

3.2.1 Data Generator

Untuk melakukan analisis kestabilan transient pada suatu sistem kelistrikan, salah satunya data yang dibutuhkan secara lengkap adalah data generator mulai dari rating hingga pada data damping dan control governor serta exciter. Dalam hal ini, untuk data masing-masing generator aktif pada PT. Pupuk Kalimantan Timur dapat dilihat pada tabulasi dibawah ini:

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator

Area	Kanibungan	KDM	PKT 4	THarapan	PKT 2	PKT 3
ID Gen	STG K-5	GTG KDM	Gen P	PKT STG 2	GTG K-2	16-Z-001
Mode Operasi	MVAR Control	Swing	Voltage Control	Voltage Control	Voltage Control	Voltage Control
PF	0.84	0.81	0.81	0.89	0.84	0.89
Tegangan (kV)	11	11	11	11	11	11
Daya Rating (MW)	30	34	21.6	30	36.4	30
Daya Mampu (MW)	27	30	18	27	30	27
Daya operasi (MW)	23.5	22.9	16	23	24	22
Load demand (MW)	23.52	17.7	16.7	15.5	13.3	21.1
Inertia	3.3	1.83	3.9	3.3	5.25	2.27
Exciter	ST3	ST3	ST1	AC2	ST3	ST3
Governor	2301	2301	GT	ST	GT	2301

3.2.2 Data Transformator Utama

Dalam sistem kelistrikkannya, PT. Pupuk Kalimantan Timur menggunakan sistem distribusi ring untuk menghubungkan jaringan kelistrikan masing-masing pabrik pada level tegangan 33 kV. Kemudian untuk bus utama pada masing-masing pabrik beroperasi pada level tegangan 11 kv. Oleh karenanya, dari sistem distribusi ring 33 kV membutuhkan transformator step down untuk dapat menghubungkan tiap pabrik. Yang mana data transformator utama pada PKT dapat dilihat di tabel berikut:

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Trafo Utama

ID Trafo	Area	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)	%Z	Konfigurasi
T1	Kanibungan	37.5	33/11	12.5	wye-delta
T20	KDM	25	33/11	10	wye-delta
K4-TR-01	PKT4	15	33/11	10	wye-delta
T3	Tursina	30	33/33	12.5	delta-wye
Insulated Transformer	Tj Harapan	40	33/33	12.5	delta-wye
T191	Tj Harapan	37.7	33/11	13.75	delta-wye
T136	PKT1	15	33/6.6	10	wye-delta
K2-TR-01	PKT2	25	33/11	10	wye-delta
K3-TR-01	PKT3	25	33/11	10	wye-delta

Selanjutnya, dari bus generator dengan tegangan 11kV untuk terhubung pada beban, kebanyakan PKT menggunakan tegangan 6,6 kV. Oleh karenanya, dari bus generator 11 kV sebelum terhubung ke beban dibutuhkan pula transformator *step down* untuk menurunkan tegangan. Untuk data spesifikasi trafonya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Trafo Utama

ID Trafo	Area	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)	%Z	Konfigurasi
TR 2500-1	KDM	2.5	11/6.6	5.5	delta-wye
01-TR-211	PKT4	8.5	11/6.9	6	delta-wye
02-TR-221	PKT4	9	11/6.9	6	delta-wye
10-TR-201	PKT4	7.5	11/6.9	6	delta-wye
T29	Tursina	7.5	33/6.9	7	delta-wye
TU-TR-03	Tursina	15	33/20	8.35	delta-wye
TR-2	PKT2	15	11/6.9	10	delta-wye
TR-5	PKT2	1.5	11/6.9	5	delta-wye
TR-8	PKT2	5	11/6.9	6	delta-wye
TR-9	PKT2	5	11/6.9	6	delta-wye
TR-11	PKT2	5	11/6.9	6	delta-wye
52-TX-111	PKT3	5	11/6.9	6	delta-wye
52-TX-112	PKT3	7.5	11/6.9	6.5	delta-wye
52-TX-311	PKT3	4.5	11/6.9	5.94	delta-wye

3.2.3 Data Beban

Secara keseluruhan, PT. Pupuk Kalimantan Timur memiliki lima pabrik aktif yang terdiri dari PKT1, PKT2, PKT3, PKT4, dan PKT5. Yang mana PKT5 terdiri atas 2 *island* yakni area kanibungan dan tanjung harapan. Selain kelima pabrik utama tersebut, PT. Pupuk Kalimantan Timur juga memiliki area lain yang berperan sebagai suplai daya mandiri yang selanjutnya dikenal dengan nama KDM. Berikut adalah *list* pembebanan masing-masing area pada PKT:

Tabel 3 4 Rincian Beban Masing-Masing Pabrik

No	Area	Kebutuhan Beban (MW)	Kebutuhan Beban (MVAR)
1	Kanibungan	23.53	16.2
2	KDM	16.3	7.2

No	Area	Kebutuhan Beban (MW)	Kebutuhan Beban (MVAR)
3	PKT4	16.7	13.4
4	Tursina	4.1	2.9
5	SS4	4.4	2.3
6	Tj Harapan	15.5	11.5
7	PKT1	19.2	10.1
8	PKT2	13.3	6.4
9	PKT3	21.1	13.4

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan simulasi pada *single line diagram* (SLD) dari PT.Pupuk Kalimantan Timur dengan menggunakan modul transient stability analysis (TSA) pada *software* ETAP 12.6.0. Simulasi dilakukan pada SLD PKT yang masih menggunakan enam generator aktif dengan belum adanya load dari future ring tursina.

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada simulasi tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut:

- i. Memilih lokasi bus yang akan disimulasikan sebagai letak gangguan hubung singkat
- ii. Memberi event gangguan pada masing-masing bus yang telah dipilih
- iii. Melakukan plot grafik antara simpangan sudut rotor terhadap waktu
- iv. Melakukan *trial* dan *error* pada waktu untuk mengisolir gangguan hingga ditemukan batas waktu stabil dan tidak
- v. Membandingkan nilai CCT yang didapat terhadap setting waktu rele pengaman yang ada
- vi. Meberikan saran sebagai bentuk evaluasi berdasarkan nilai CCT yang telah di dapatkan

4.1 Analisis Kestabilan Transient

Pada simulasi transient tugas akhir ini, akan dianalisis bagaimana respon generator pada sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan yang disimulasikan disini adalah hubung singkat pada bus utama dengan level tegangan menengah 11 kV dan 33 kV, alasan pemilihan lokasi ini adalah karena pada lokasi-lokasi tersebut lah kemungkinan terbuuruk untuk pada saat gangguan mengalami kehilangan daya elektris yang cukup besar, yang selanjutnya dapat mengakibatkan perbedaan terhadap daya mekanis yang cukup signifikan dan membuat ayunan rotot melonjak tinggi. Respon generator yang dianalisis adalah respon sudut rotornya, dan selanjutnya dari sini dapat ditentukan rentang waktu operasi batas stabil dan tidaknya dari generator terkait. Untuk simulasi letak gangguan, akan dilakukan pada beberapa bus sebagai berikut:

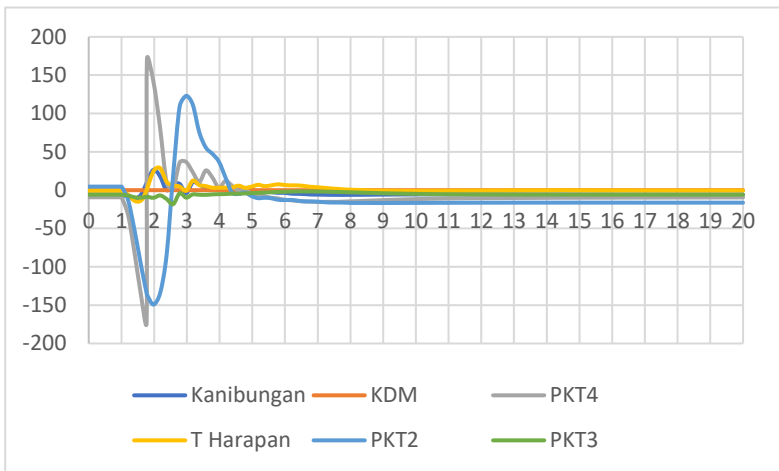
i. Bus Kanibungan 33kV	: Bus kanibungan incoming ring dengan level tegangan 33 kV
ii. Bus KDM 33kV	: Bus KDM incoming ring dengan level tegangan 33 kV
iii. Bus PKT4 33kV	: Bus PKT4 incoming ring dengan level tegangan 33 kV
iv. Bus THARAPAN 33kV	: Bus Tanjung Harapan incoming ring dengan level tegangan 33 kV
v. Bus PKT2 33kV	: Bus PKT2 incoming ring dengan level tegangan 33 kV
vi. Bus PKT3 33kV	: Bus PKT3 incoming ring dengan level tegangan 33 kV
vii. Bus SG-00-K5	: Bus generator kanibungan dengan level tegangan 11 kV
viii. KDM 11 kV	: Bus generator KDM dengan level tegangan 11 kV
ix. 00-SG-101	: Bus generator PKT4 dengan level tegangan 11 kV
x. 03-SG-101	: Bus generator Tanjung Harapan dengan level tegangan 11 kV
xi. SWGR-1	: Bus generator PKT2 dengan level tegangan 11 kV
xii. 52-SG-101	: Bus generator PKT3 dengan level tegangan 11 kV

4.2 Penentuan CCT berdasarkan Lokasi Gangguan di PT. Pupuk Kalimantan Timur

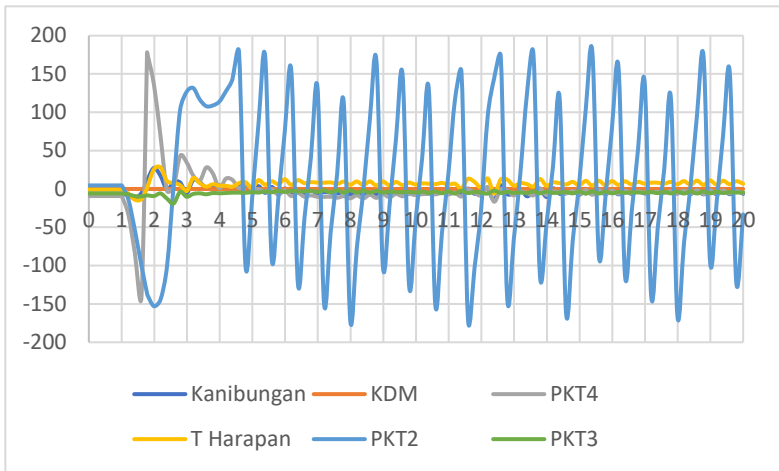
Dalam menentukan besarnya nilai CCT pada masing-masing kasus (case) akan digunakan metode *trial and error* TDS dengan pada modul *transient analysis* ETAP 12.6.0. Pada simulasi ini, nantinya akan didapatkan rentang batas waktu pemutusan kritis antara waktu stabil dan tidaknya dengan cara melakukan observasi pada respon sudut rotor setiap generator saat terjadi gangguan pada tiap lokasi yang telah ditentukan sebelumnya. Pada sub-bab ini, akan disajikan hasil simulasi pada tiap kasus sebagai berikut:

4.2.1 Case CCT KANIBUNGAN: Simulasi Gangguan Bus Kanibungan 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus kanibungan 33 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.77s-0.78s Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.1 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus kanibungan 33 kV dengan waktu pemutusan 0.77s

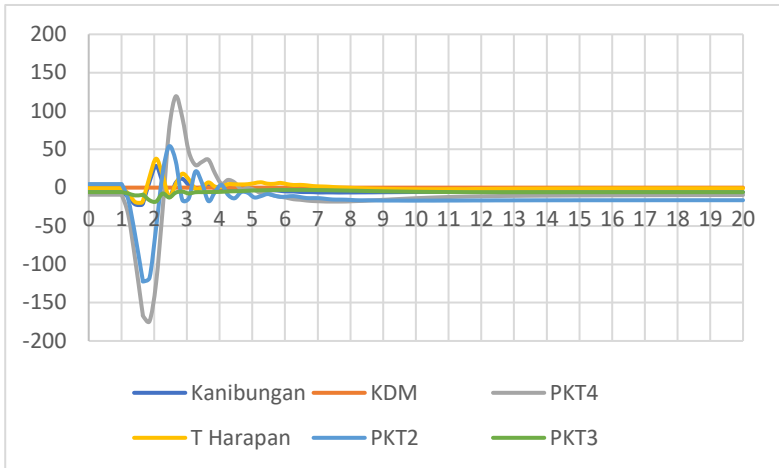


Gambar 4.2 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus kanibungan 33 kV dengan waktu pemutusan 0.78s

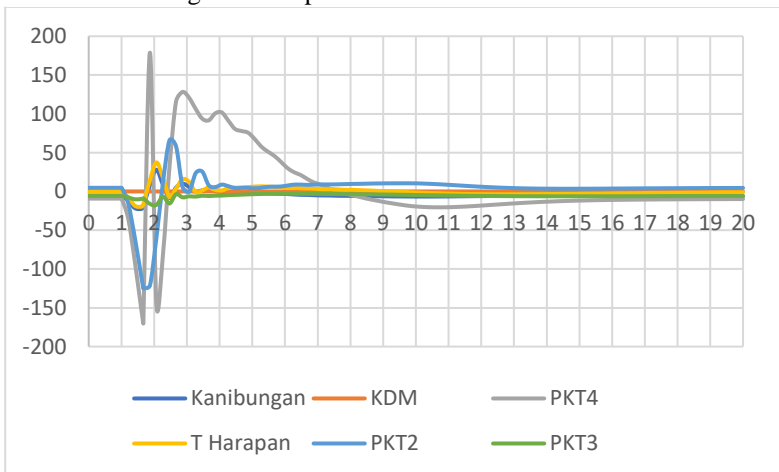
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.77s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula meskipun generator PKT4 mengalami simpangan yang cukup jauh yakni sebesar -172.45 namun masih dapat kembali normal pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.78s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2 generator PKT2 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar dan terus mengalami osilasi pada waktu yang lama, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.2 Case CCT KDM: Simulasi Gangguan Bus KDM 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus KDM 33kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.65s-0.66s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 3 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 33 kV dengan waktu pemutusan 0.65s



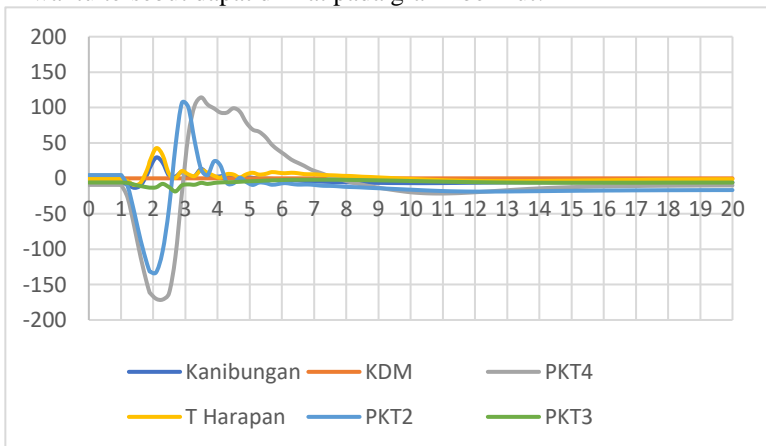
Gambar 4. 4 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 33 kV dengan waktu pemutusan 0.66s

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.65s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula meskipun generator PKT4 mengalami simpangan

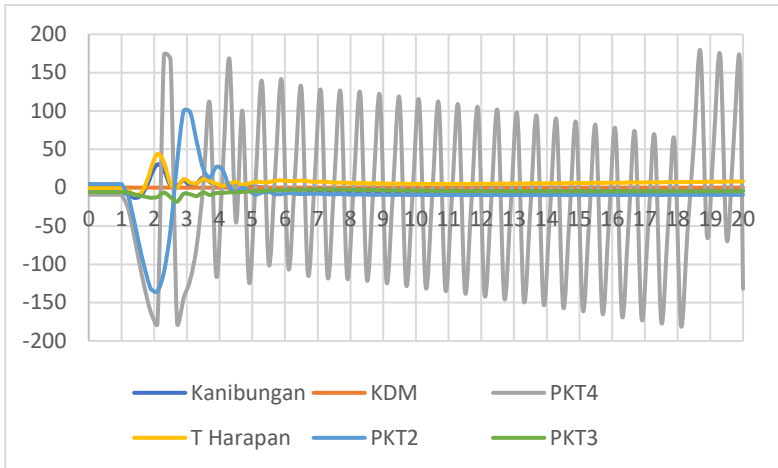
yang cukup jauh yakni sebesar -174.17 namun masih dapat kembali normal pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.66s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.4 generator PKT4 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar dan mengalami osilasi dengan simpangan sebesar 178.8 yang mana nilai tersebut adalah ambang kritis sebelum generator lepas dari sistem, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.3 Case CCT PKT4: Simulasi Gangguan Bus PKT4 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus PKT4 33 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.88s-0.89s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 5 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT4 33 kV dengan waktu pemutusan 0.88s

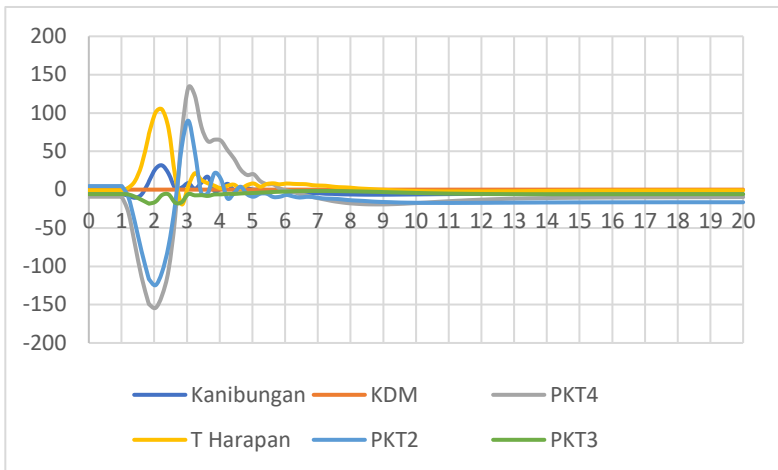


Gambar 4. 6 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT4 33 kV dengan waktu pemutusan 0.89s

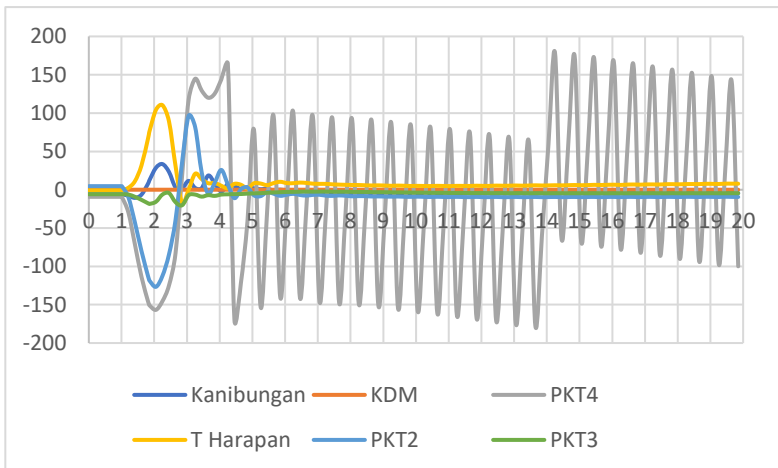
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.88s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula meskipun generator PKT4 mengalami simpangan yang cukup jauh yakni sebesar -171.13 namun masih dapat kembali normal pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.89s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6 generator PKT4 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar yakni 177.17 dan terus mengalami osilasi pada waktu yang lama, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.4 Case CCT Tanjung Harapan: Simulasi Gangguan Bus THARAPAN 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus THARAPAN 33 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.83s-0.84s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 7 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus THARAPAN 33 kV dengan waktu pemutusan 0.83s

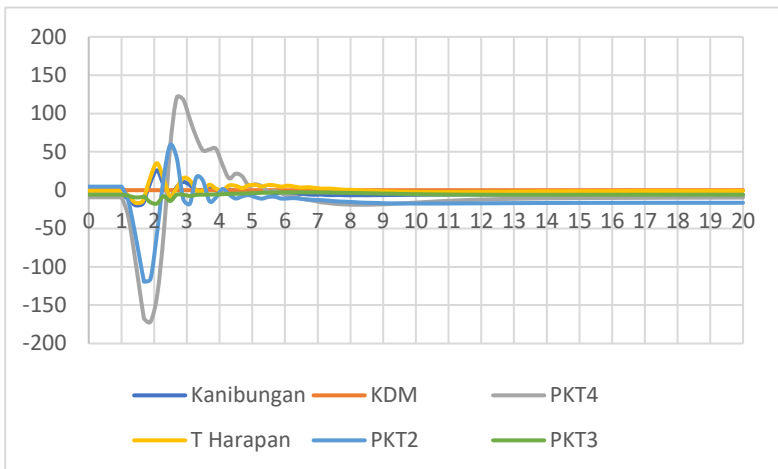


Gambar 4. 8 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus THARAPAN 33 kV dengan waktu pemutusan 0.84s

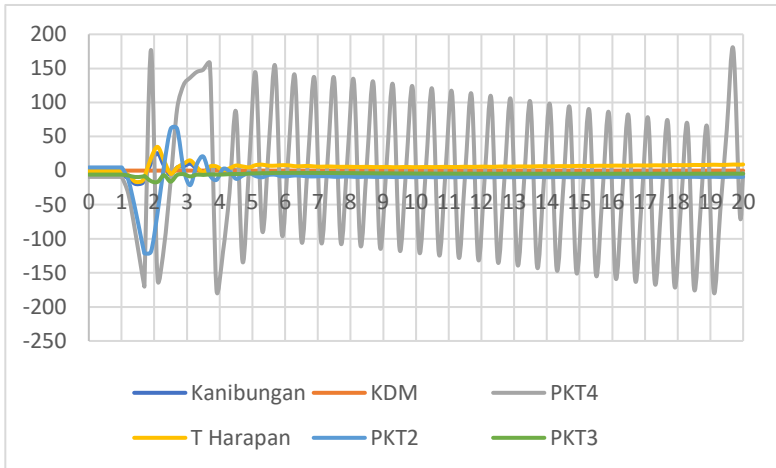
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.83s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.84s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.8 generator PKT4 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar yakni 178.36 dan terus mengalami osilasi pada waktu yang lama, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.5 Case CCT PKT2: Simulasi Gangguan Bus PKT2 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus PKT2 33 kV waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.68s-0.69s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 9 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT2 33 kV dengan waktu pemutusan 0.68s

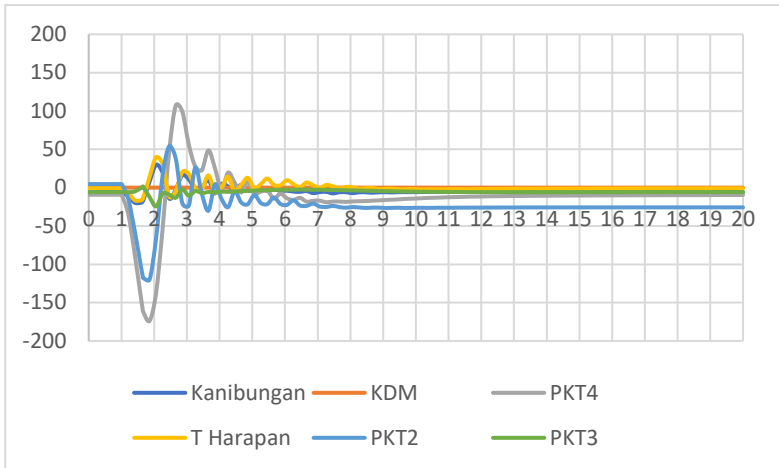


Gambar 4. 10 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT2 33 kV dengan waktu pemutusan 0.69s

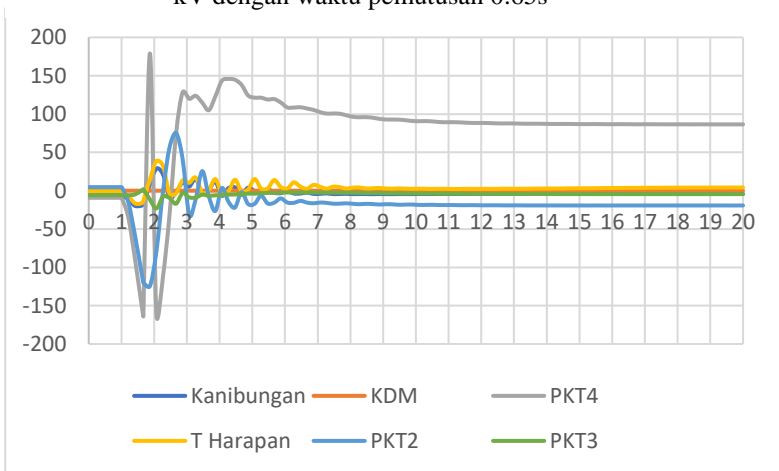
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.68s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula meskipun generator PKT4 mengalami simpangan yang cukup jauh yakni sebesar -171.54 namun masih dapat kembali normal pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.69s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.10 generator PKT4 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar yakni 178.36 dan terus mengalami osilasi pada waktu yang lama, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.6 Case CCT PKT3: Simulasi Gangguan Bus PKT3 33 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus PKT3 33 kV waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.65s-0.66s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 11 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT3 33 kV dengan waktu pemutusan 0.65s



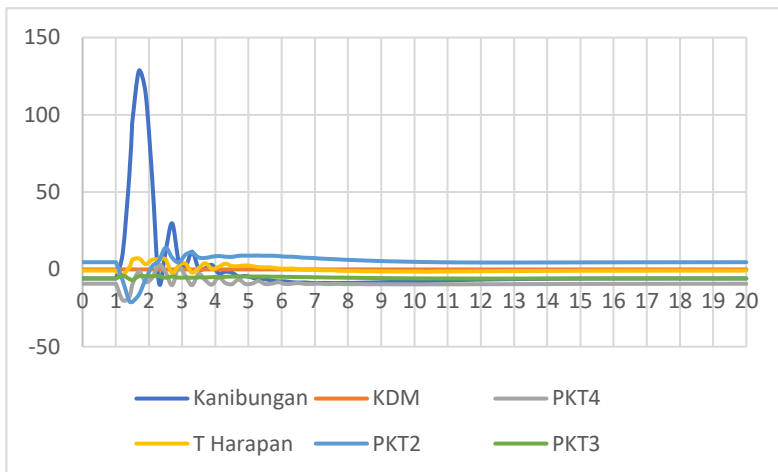
Gambar 4. 12 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus PKT3 33 kV dengan waktu pemutusan 0.66s

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.65s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula meskipun generator PKT4 mengalami simpangan

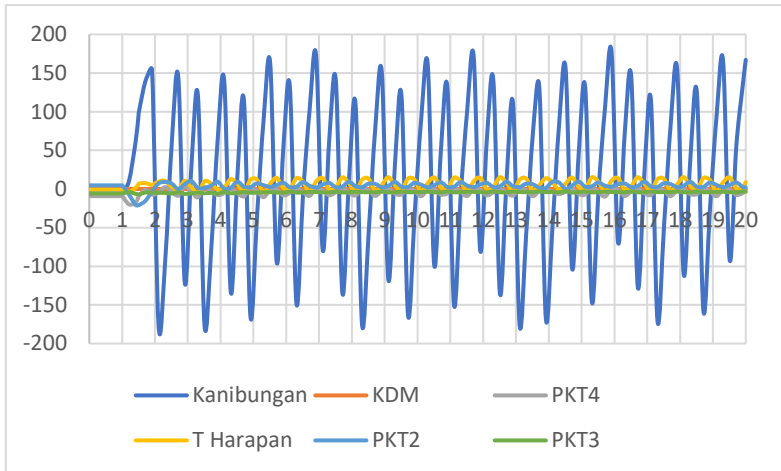
yang cukup jauh yakni sebesar -173.86 namun masih dapat kembali normal pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.11. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.66s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.12 generator PKT4 mengalami simpangan yang nilainya cukup besar yakni 179.36 dan tidak dapat kembali ke keadaan normalnya, sehingga sistem harus dapat mengatasi gangguan dibawah waktu ini.

4.2.7 Case CCT 1: Simulasi Gangguan Bus SG-00-K5

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator SG-00-K5 pada area kanibungan dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.68s-0.69s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 13 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SG-00-K5 dengan waktu pemutusan 0.68s

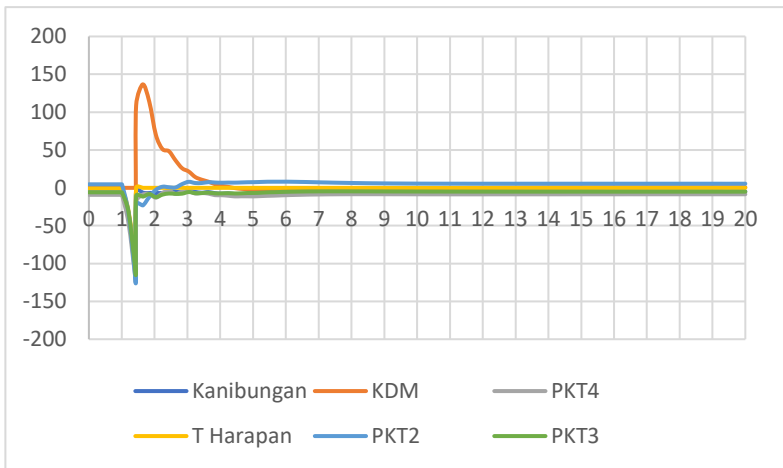


Gambar 4. 14 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SG-00-K5 dengan waktu pemutusan 0.69s

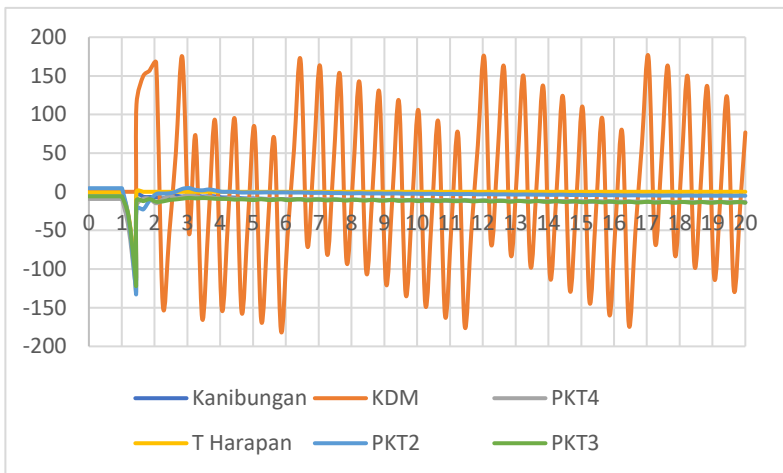
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.68s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.13. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.69s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.14s generator pada area kanibungan terus menerus mengalami osilasi dan dapat dikarakan bahwa generator tersebut telah lepas sinkron pada waktu ini.

4.2.8 Case CCT 2: Simulasi Gangguan Bus KDM 11 kV

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator KDM 11 kV pada area KDM dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.54s-0.55s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 15 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 11 kV dengan waktu pemutusan 0.54s

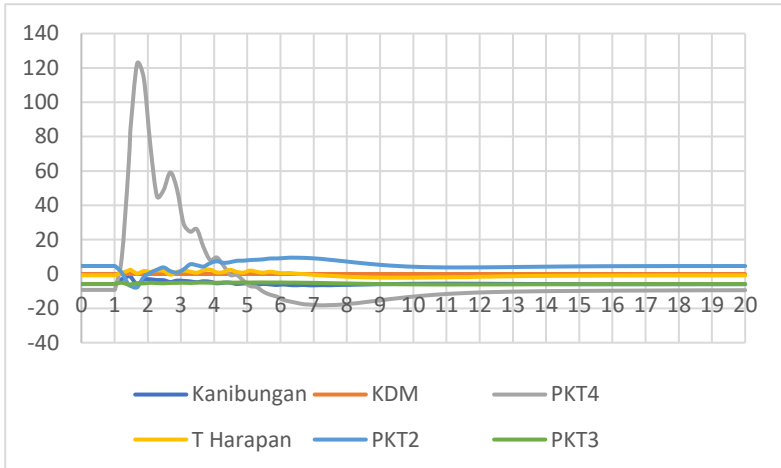


Gambar 4. 16 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus KDM 11 kV dengan waktu pemutusan 0.55s

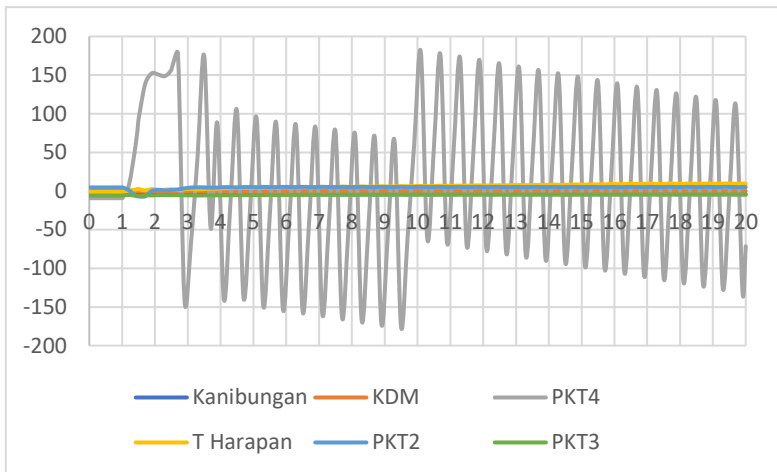
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.54s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.15. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.55s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.16 generator pada area KDM terus menerus mengalami osilasi dan dapat dikatakan bahwa generator tersebut telah lepas sinkron pada waktu ini.

4.2.9 Case CCT 3: Simulasi Gangguan Bus 00-SG-101

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator 00-SG-101 pada area PKT4 dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.68s-0.69s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 17 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 00-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.68s

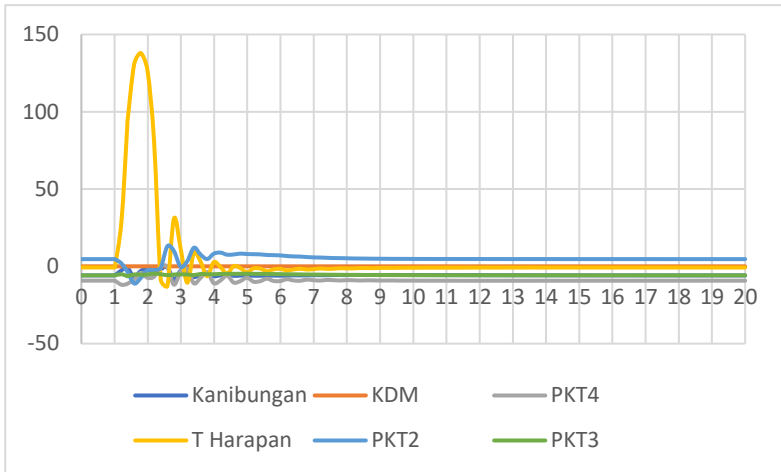


Gambar 4. 18 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 00-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.69s

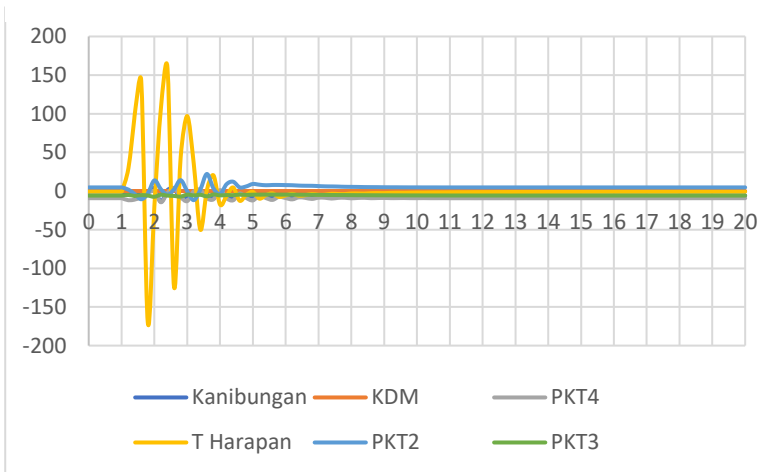
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.68s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.17. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.69s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.18 generator pada area KDM terus menerus mengalami osilasi dan dapat dikatakan bahwa generator tersebut telah lepas sinkron pada waktu ini.

4.2.10 Case CCT 5: Simulasi Gangguan Bus 03-SG-101

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator 03-SG-101 pada area Tanjung Harapan dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.55s-0.56s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 19 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 03-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.55s

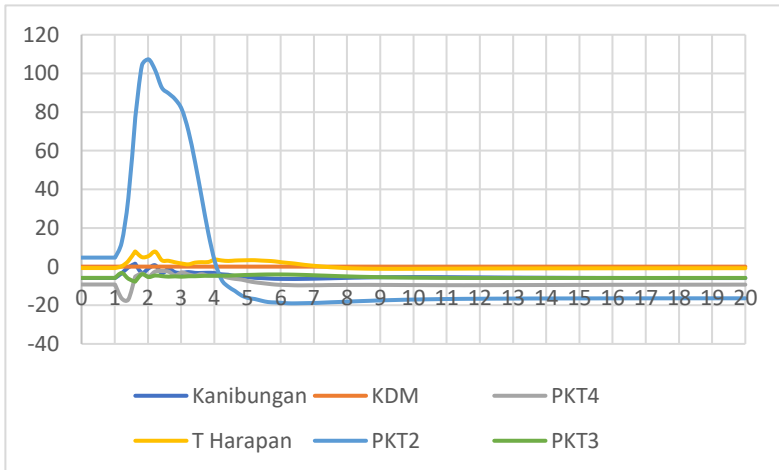


Gambar 4. 20 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 03-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.56s

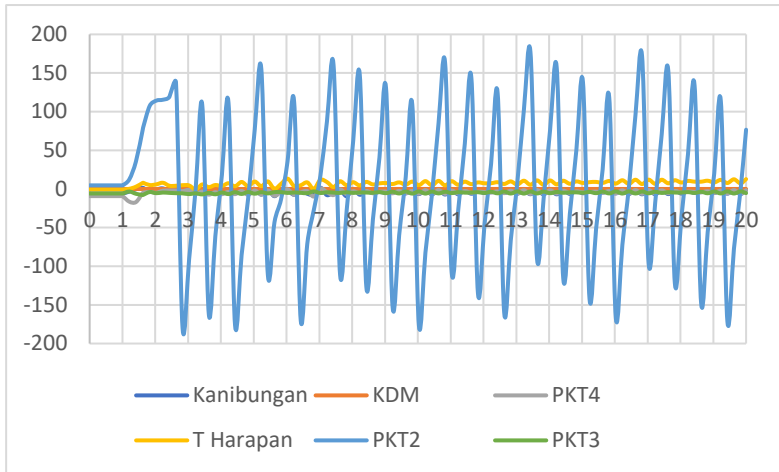
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.55s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.19. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.56s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.20 generator pada area Tanjung Harapan mengalami osilasi cukup lama dan ini membuat generator tersebut memiliki kecenderungan untuk lepas sinkron dari sistem.

4.2.11 Case CCT 7: Simulasi Gangguan Bus SWGR-1

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator SWGR-1 pada area PKT2 dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.98s-0.99s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 21 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SWGR-1 dengan waktu pemutusan 0.98s

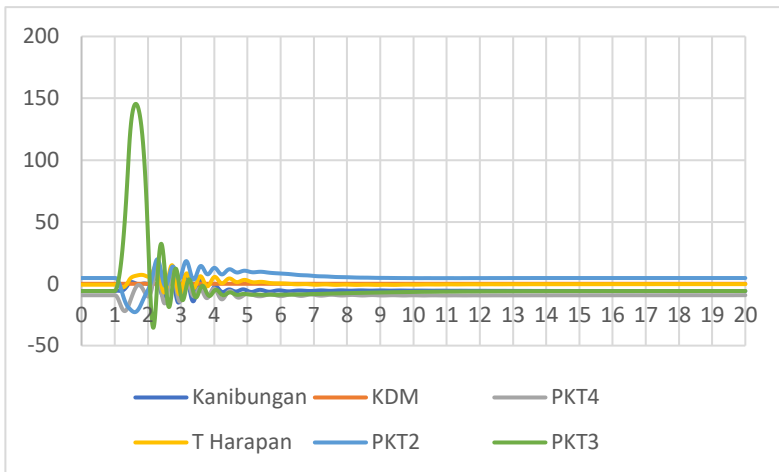


Gambar 4. 22 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus SWGR-1 dengan waktu pemutusan 0.99s

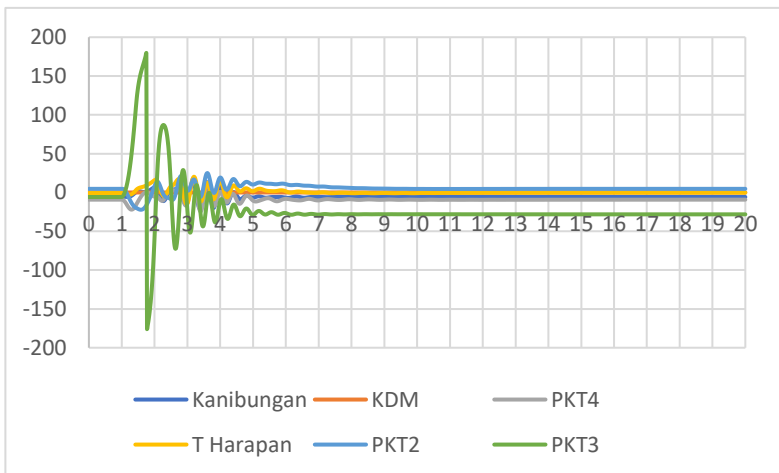
Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.98s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.21. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.99s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.22 generator pada area PKT2 terus mengalami osilasi dan dapat dikatakan bahwa generator tersebut telah lepas sinkron dari sistem.

4.2.12 Case CCT 8: Simulasi Gangguan Bus 52-SG-101

Pada kasus ini, akan dilakukan simulasi sistem mengalami gangguan pada bus generator 52-SG-101 pada area PKT3 dengan level tegangan 11 kV pada waktu 1s dan durasi simulasi selama 20s. *Event* ini kemudian dilanjutkan dengan respon sistem untuk mengatasi gangguan tersebut pada waktu tertentu. Yang dari beberapa percobaan didapatkan CCT pada kasus ini adalah dalam rentang 0.55s-0.56s. Yang mana respon generator pada rentang waktu tersebut dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 23 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 52-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.55s



Gambar 4. 24 Respon sudut rotor pada kasus gangguan bus 52-SG-101 dengan waktu pemutusan 0.56s

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa pada waktu pemutusan 0.55s seluruh generator masih dapat dikatakan stabil dan mampu kembali ke keadaan semula pada waktu yang relatif singkat seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.23. Sedangkan pada waktu pemutusan 0.56s, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.24 generator pada area PKT3 mengalami osilasi dengan simpangan dan durasi yang cukup besar sehingga dapat dikatakan bahwa generator tersebut memiliki kecenderungan untuk telah sinkron dari sistem.

4.3 Perbandingan hasil CCT dan *Setting Rele Existing* PT. Pupuk Kalimantan Timur

Dari beberapa kasus yang telah disimulasikan, telah didapatkan besar nilai CCT untuk masing-masing kasus. Yang selanjutnya nilai tersebut akan dibandingkan dengan *setting existing* tiap rele. Dan dari sana akan dapat disimpulkan apakah setting yang ada sudah memenuhi nilai CCT atau belum, yang mana perbandingan keduanya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Perbandingan nilai CCT dengan setting existing waktu rele

No	ID Bus	Setting Waktu Rele (sekon)	CCT (sekon)	Status
1	Kanibungan 33 kV	0.1	0.77-0.78	Aman
2	KDM 33 kV	0.1	0.65-0.66	Aman
3	PKT4 33 kV	0.1	0.88-0.89	Aman
4	THARAPAN 33 kV	0.1	0.83-0.84	Aman
5	PKT2 33 kV	0.1	0.68-0.69	Aman
6	PKT3 33 kV	0.1	0.65-0.66	Aman
7	SG-00-K5	0.5	0.68-0.69	Aman
8	KDM 11 kV	0.5	0.54-0.55	Aman
9	00-SG-101	0.5	0.68-0.69	Aman
10	03-SG-101	0.5	0.55-0.56	Aman

No	ID Bus	Setting Waktu Rele (sekon)	CCT (sekon)	Status
11	SWGR-1	0.5	0.98-0.99	Aman
12	52-SG-101	0.5	0.55-0.56	Aman

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa seluruh area bus yang disimulasikan memiliki nilai CCT yang sudah berada diatas *setting* waktu relenya, sehingga dapat dikatakan bahwa pada area 11kV bus generator dan 33kV incoming dari ring sudah mampu mempertahankan kondisi sinkron sistem usai mengalami gangguan. Yang mana hal ini akan mampu untuk meningkatkan keandalan dari sistem juga memperpanjang lifetime dari generator itu sendiri karena bagian rotornya tidak terlalu lama mengalami *stress* yang berkepanjangan.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa sistem koordinasi proteksi pada PT. Pupuk Kalimantan Timur (pada area bus 11kv dan 33kV) telah memenuhi nilai dari *Transient Stability Assesment*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari tugas akhir ini, setelah CCT pada masing-masing case ditemukan dan dilakukan komparasi dengan setting rele yang ada, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari 12 bus yang disimulasikan pada bus generator 11kV dan 33kV, sistem mampu mempertahankan keadaan sinkronnya usai mengalami gangguan, karena CCT yang didapat masih berada diatas nilai setting rele yang ada.
2. CCT yang didapatkan pada kasus gangguan 33kV lebih baik nilainya ketimbang pada kasus gangguan di bus generator 11 kV.
3. Semakin besar perubahan beban yang terjadi, maka akan semakin sulit bagi generator untuk mengikuti perubahan yang terjadi
4. Semakin dekat lokasi gangguan dengan lokasi generator, maka CCT nya akan bernilai lebih kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang di dapat dari tugas akhir ini, penulis dapat memberikan beberapa saran antara lain:

1. Sebaiknya dilakukan penggunaan AI (artificial Intelligent) pada pencarian nilai CCT untuk mempermudah dan mempercepat proses penentuan CCT
2. Sebaiknya dalam melakukan *setting* proteksi sistem juga mempertimbangkan *transient stability*

Halaman ini sengaja dikosongkan

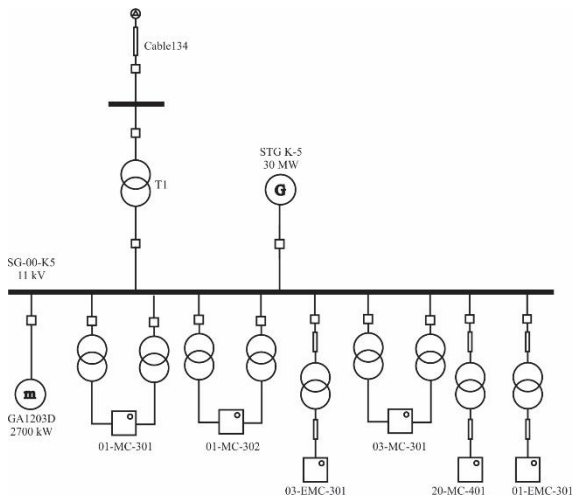
DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Sekilas Perusahaan Produsen Urea Terbesar - Berorientasi Lingkungan,” *PUPUK KALTIM*. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.pupukkaltim.com>. [Diakses: 04-Des-2017].
- [2] P. M. Anderson, *Power System Protection*. Canada: John Wiley and Sons Inc, 1998.
- [3] T. Soleymani Aghdam, H. Kazemi Karegar, dan H. H. Zeineldin, “Transient Stability Constrained Protection Coordination for Distribution Systems with DG,” *IEEE Trans. Smart Grid*, hlm. 1–1, 2017.
- [4] K. Praba, *Power System Stability and Control*, 2 ed. New york: McGraw-Hill.
- [5] F. Selwa dan L. Djamel, “Transient Stability Analysis of Synchronous Generator in Electrical Network,” vol. 5, no. 8, hlm. 5, 2014.
- [6] Das J.C, *Transient in Electrical Systems, Analysis, Recognition, and Mitigation*. McGraw-Hill Companies Inc, 2010.
- [7] O. Lenga, “Application of critical clearing time as a transient stability criterion for power system expansion planning,” dalam *Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, hlm. 215–218.
- [8] IEEE, “Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants,” IEEE std C37.106-1987.
- [9] J. G. William Stevenson, *Power System Analysis*, 2 ed. McGraw-Hill Companies Inc, 1994.
- [10] S. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4 ed. USA: McGraw-Hill, 2004.
- [11] J. L. Blackburn, *Protective Relaying Principles and Applications*. America: Taylor & Francis Group, 2006.

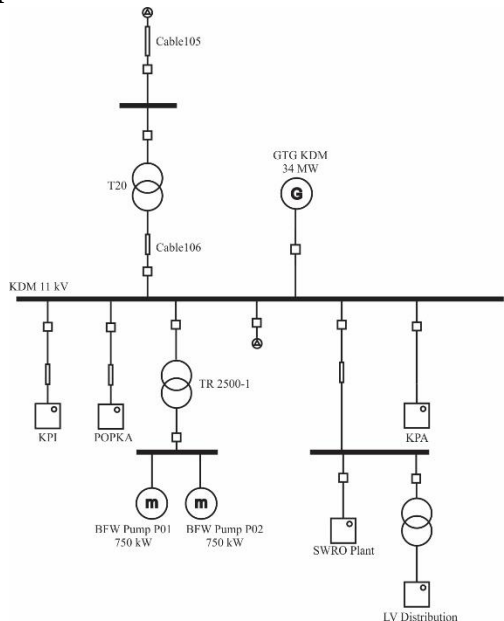
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

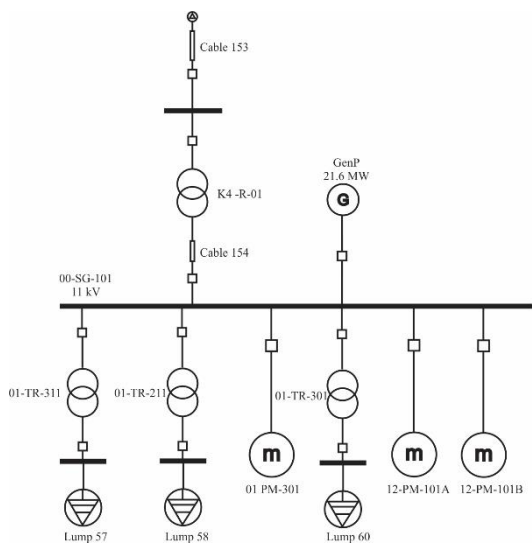
SLD Kanibungan



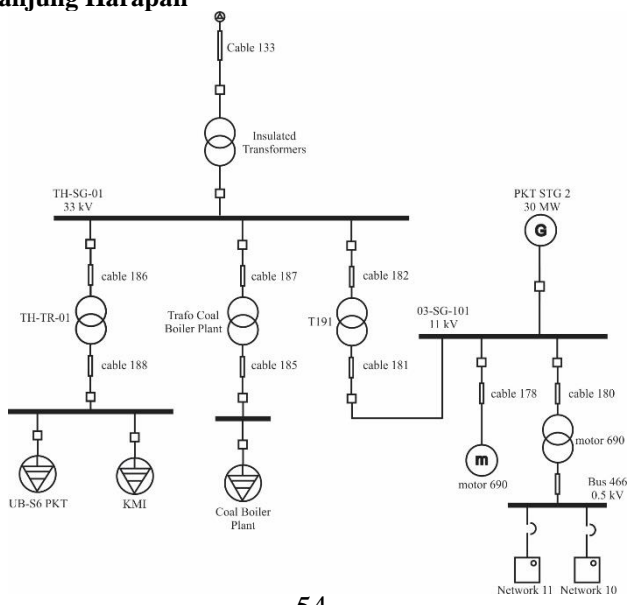
SLD KDM



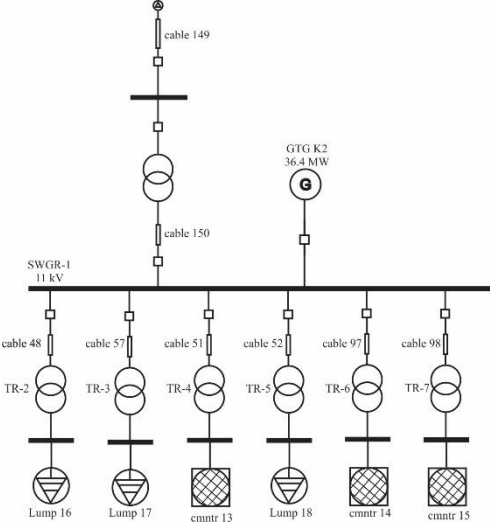
SLD PKT4



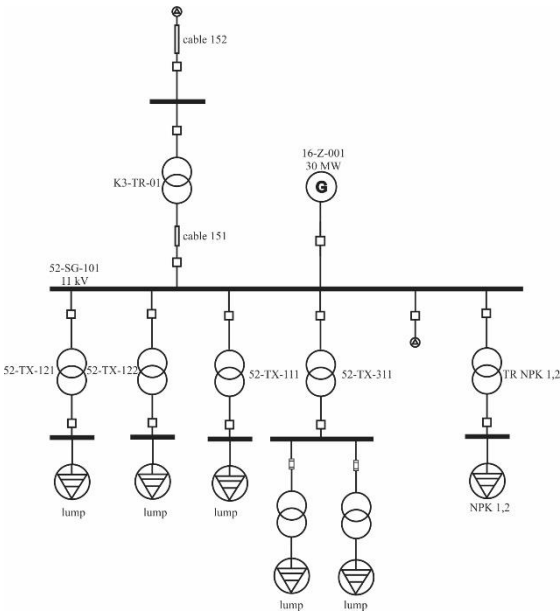
SLD Tanjung Harapan



SLD PKT2



SLD PKT3



Setting Governor

Type : 2301

Generator : STG K5

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	27	0	42	0
alpha	beta	rho	K1	
0.8273	0.165	0.2	271.6	
tau	T1	T2		
0.1	0.025	0.01		

Type : 2301

Generator : GTG KDM

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	32	0	42	0
alpha	beta	rho	K1	
0.8273	0.165	0.2	271.6	
tau	T1	T2		
0.1	0.025	0.01		

Type : GT
Generator : GenP

Type	Mode
GT	Droop
Droop	Pmax
5	18
	Pmin
	0

Tsr	Tc	Tt
0.15	0.1	0.1

Type : ST
Generator : PKT STG K2

Type	Mode
ST	Droop
Droop	Pmax
5	27
	Pmin
	0

Fhp
0.7

Tsr	Tc	Tch	Trh
0.2	0.2	0.4	5

Type : GT
Generator : GTG K2

Type	Mode	
GT	Droop	
Droop	Pmax	Pmin
5	30	0
Tsr	Tc	Tt
0.15	0.1	0.1

Type : GT
Generator : GTG K2

☒ Built-in ☐ UDM

Type	Mode	LS GP#		
2301	Droop	None		
Droop	Pmax	Pmin	thetaMax	thetaMin
5	27	0	42	0
alpha	beta	rho	K1	
0.8273	0.165	0.2	271.6	
tau	T1	T2		
0.1	0.025	0.01		

BIODATA PENULIS



Hafiz Ichwanto, dilahirkan di Kediri pada 4 September 1995. Penulis merupakan alumni dari SMAN 3 Malang dan pada tahun 2014 silam memutuskan untuk melanjutkan studi S1 di departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Elektro ITS Surabaya. Selama di dunia kampus, penulis aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan seperti menjadi ketua pelaksana pada ELECTRA 5, dan wakil ketua electra 2017. Selain itu penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium instrumentasi pengukuran dan identifikasi B204 pada jurusan Teknik elektro. Kedepannya penulis berencana melanjutkan studinya di luar negeri apabila mendapat kesempatan. Penulis dapat dihubungi melalui email hafizichwanto@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan